

Zum Mond in einer Sekunde

Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen

Daniel Arnold

Eine Nacht mit Albert
Bernisches Historisches Museum
2. Juni 2017

*Phantasie ist wichtiger
als Wissen, denn Wissen
ist begrenzt.*

A. Einstein

Schnell, schneller, ...

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.

Schnell, schneller, ...

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell!

Schnell, schneller, ...

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell!
- Die Lichtgeschwindigkeit ist nach dem heutigen Stand des Wissens die höchste Geschwindigkeit, die in der Natur vorkommt. Nichts bewegt sich schneller als Licht!

Schnell, schneller, ...

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell!
- Die Lichtgeschwindigkeit ist nach dem heutigen Stand des Wissens die höchste Geschwindigkeit, die in der Natur vorkommt. Nichts bewegt sich schneller als Licht!
- Licht fliegt furchtbar schnell!

Schnell, schneller, ...

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell!
- Die Lichtgeschwindigkeit ist nach dem heutigen Stand des Wissens die höchste Geschwindigkeit, die in der Natur vorkommt. Nichts bewegt sich schneller als Licht!
- Licht fliegt furchtbar schnell!

$$c = 299'792'458 \text{ m/s}$$

Schnell, schneller, ...

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell!
- Die Lichtgeschwindigkeit ist nach dem heutigen Stand des Wissens die höchste Geschwindigkeit, die in der Natur vorkommt. Nichts bewegt sich schneller als Licht!
- Licht fliegt furchtbar schnell!

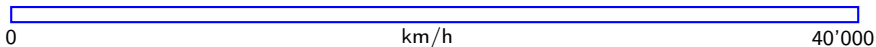
$$c = 299'792'458 \text{ m/s}$$

$$c = 1'079'252'849 \text{ km/h}$$

1. Digestif
2. Woher weiss man das?
3. Mit Licht Distanzen messen

Digestif

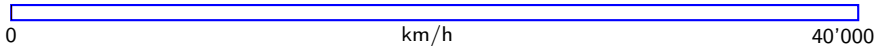
Wie *schnell* fliegt Licht?



Digestif

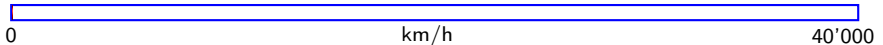
Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h



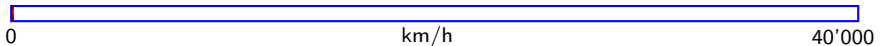
Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h



Wie *schnell* fliegt Licht?

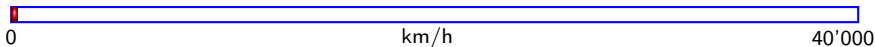
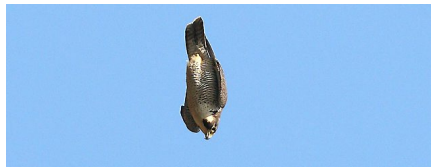
- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h



Digestif

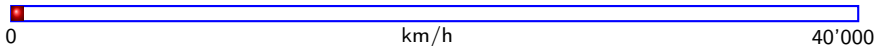
Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h



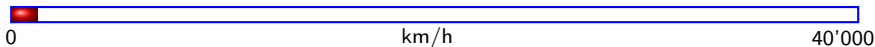
Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h



Wie *schnell* fliegt Licht?

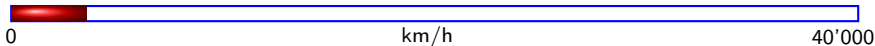
- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h





Wie *schnell* fliegt Licht?

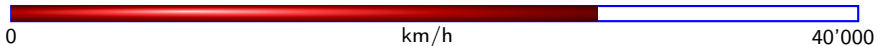
- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h
- Schnellstes Flugzeug: 3'529 km/h





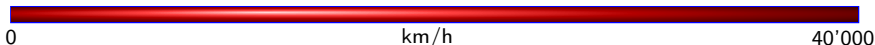
Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h
- Schnellstes Flugzeug: 3'529 km/h
- Internationale Raumstation: 27'600 km/h

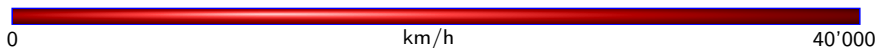


Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h
- Schnellstes Flugzeug: 3'529 km/h
- Internationale Raumstation: 27'600 km/h
- Schnellste Menschen (Apollo 10): 39'897 km/h

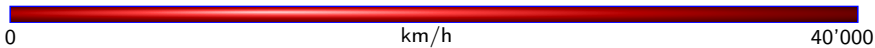


Digestif

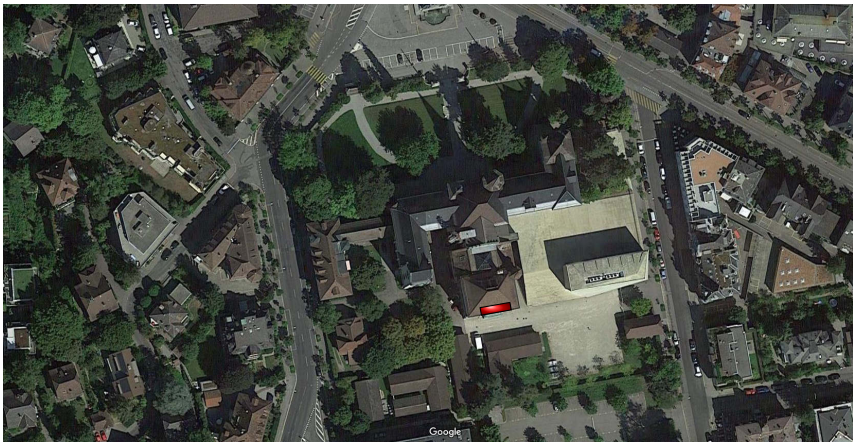


Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?

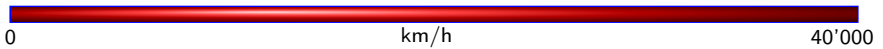
Digestif



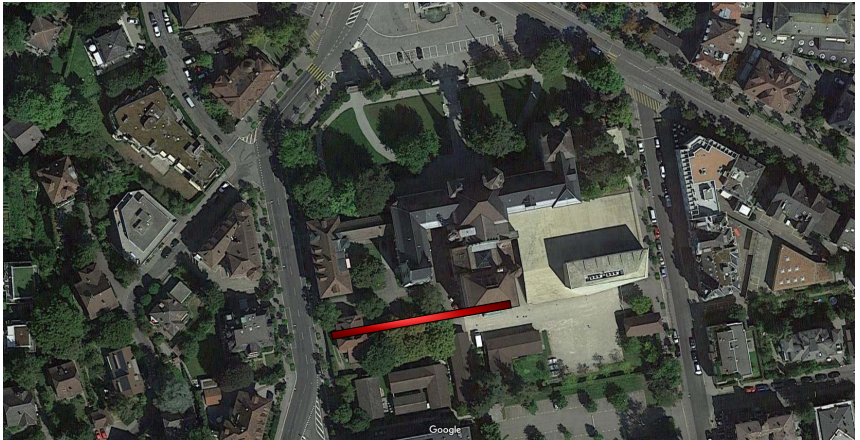
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



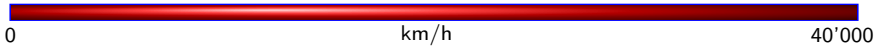
Digestif



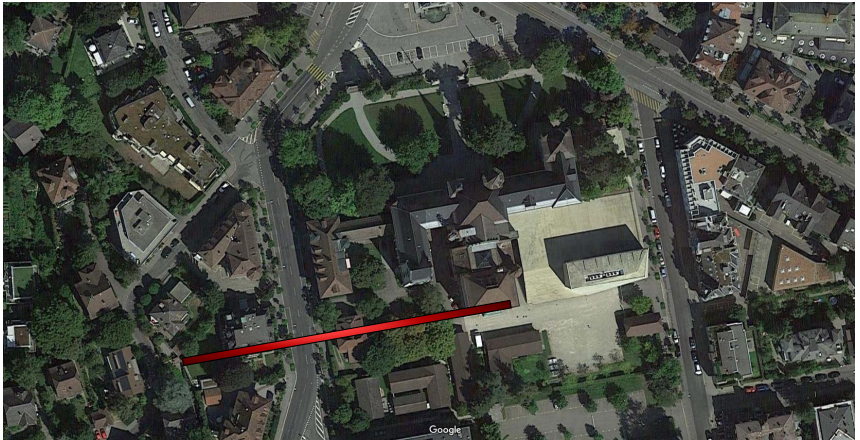
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



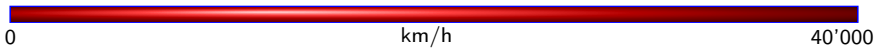
Digestif



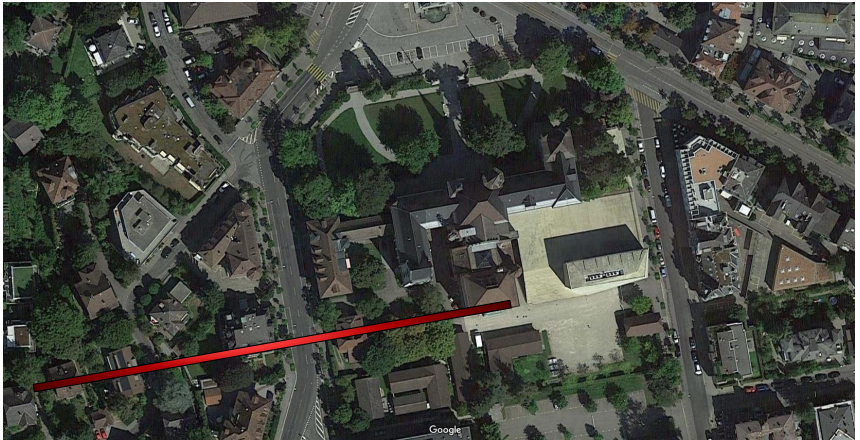
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



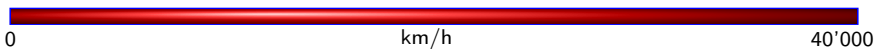
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



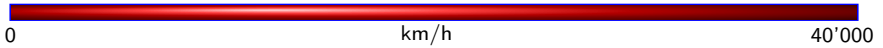
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



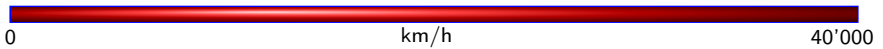
Digestif



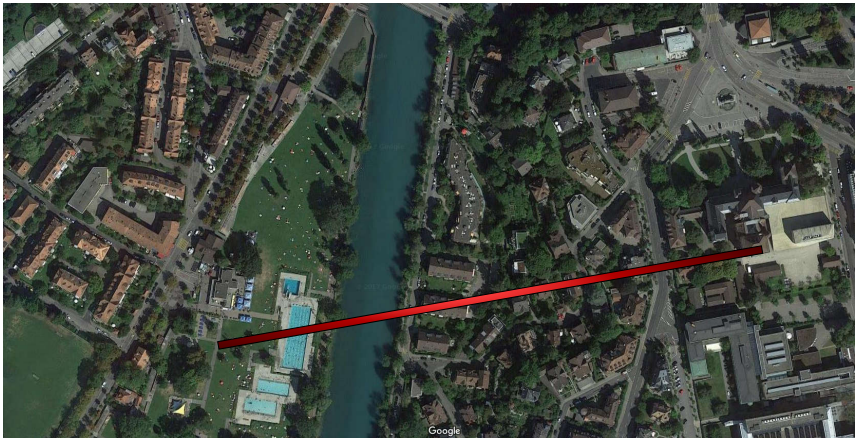
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



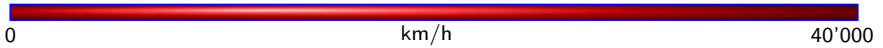
Digestif



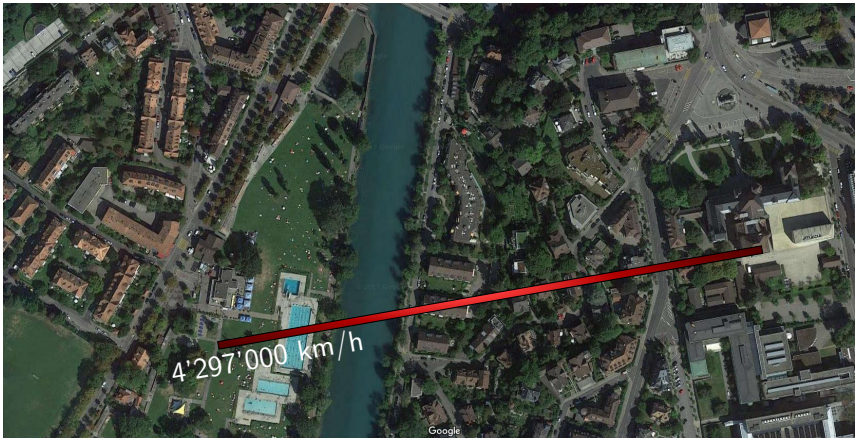
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



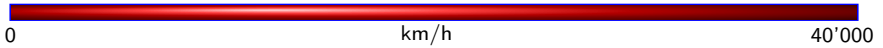
Digestif



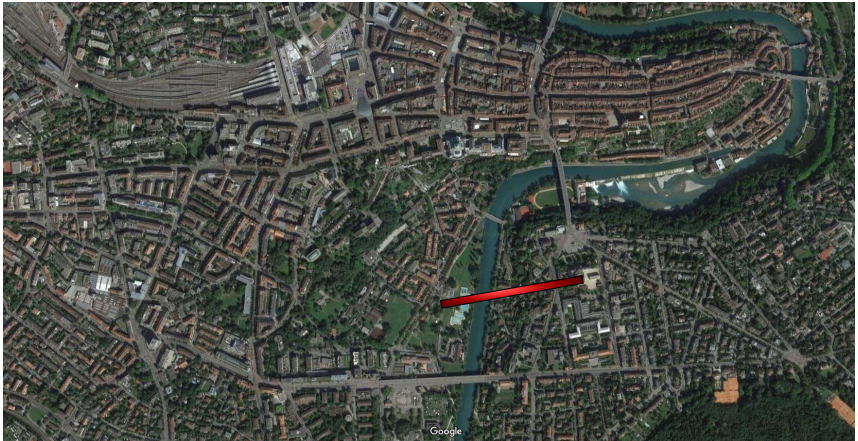
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



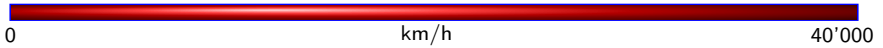
Digestif



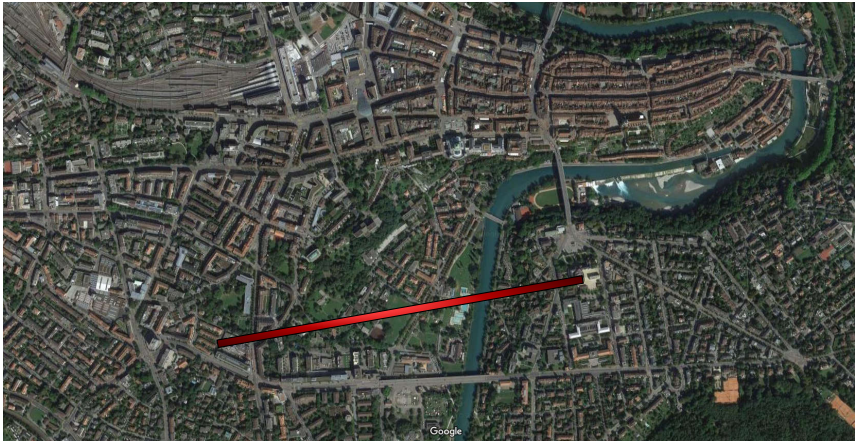
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



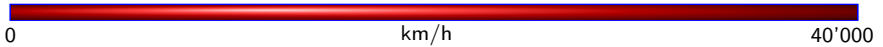
Digestif



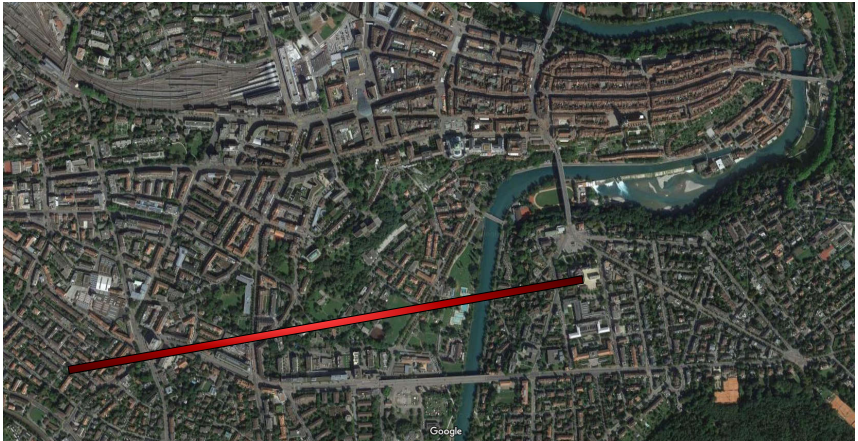
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



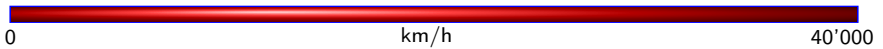
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



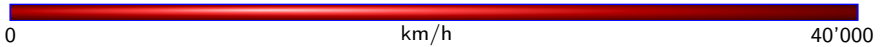
Digestif



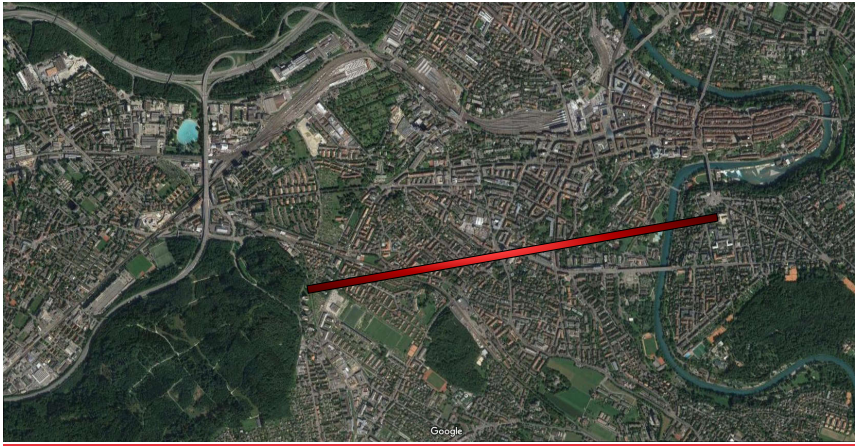
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



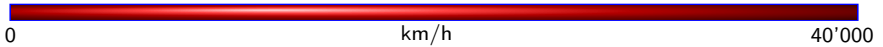
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



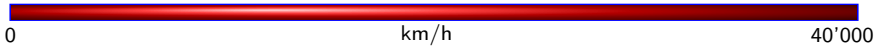
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



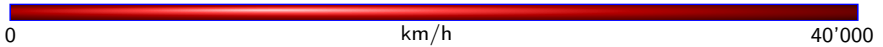
Digestif



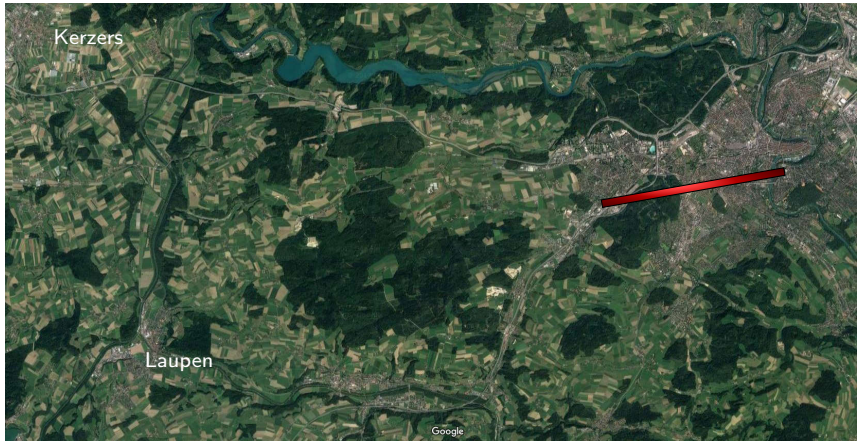
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



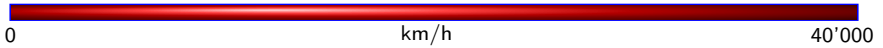
Digestif



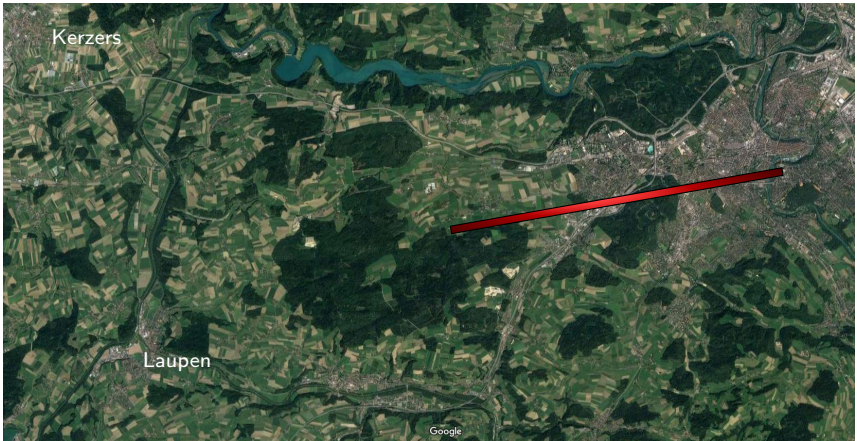
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



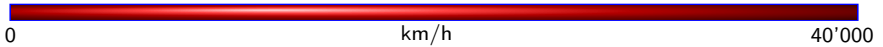
Digestif



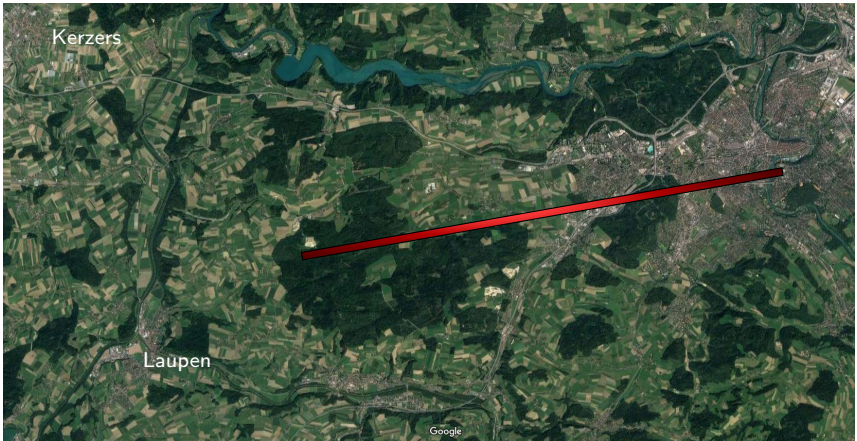
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



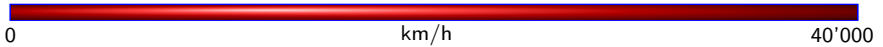
Digestif



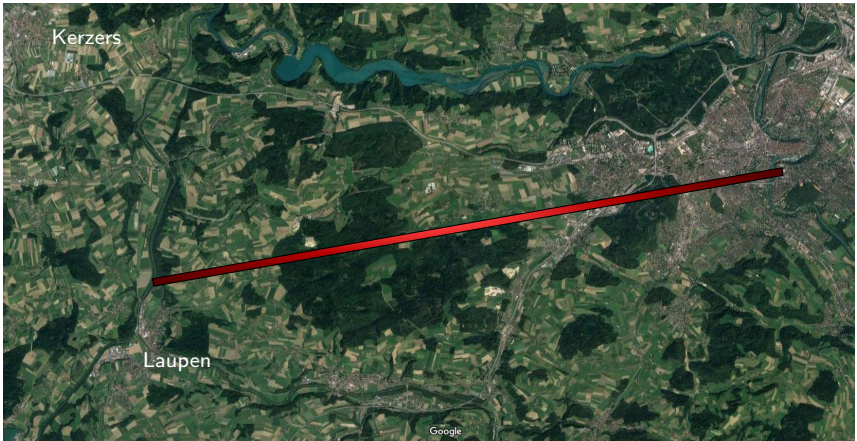
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



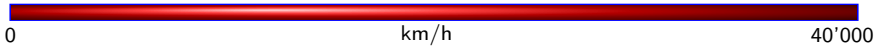
Digestif



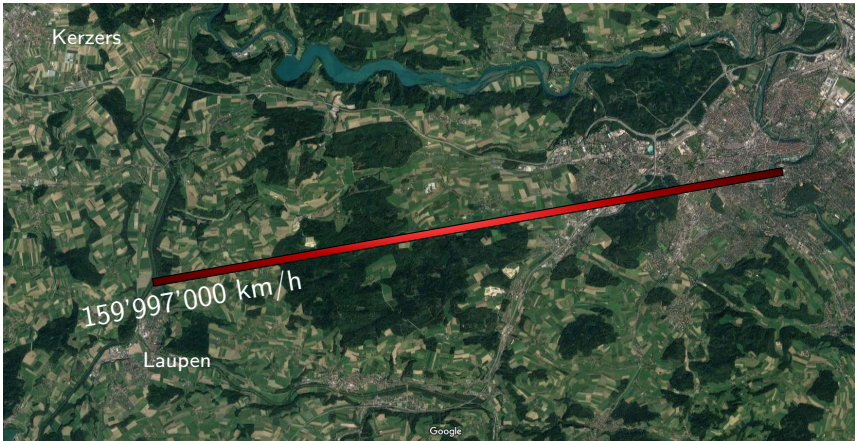
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



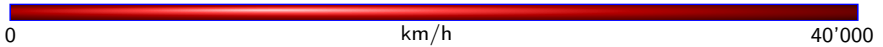
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



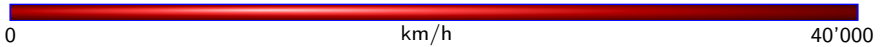
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



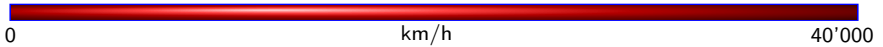
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



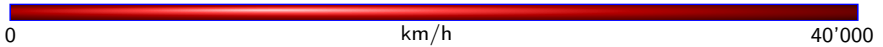
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



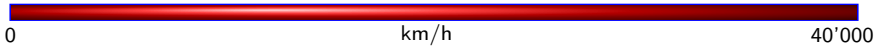
Digestif



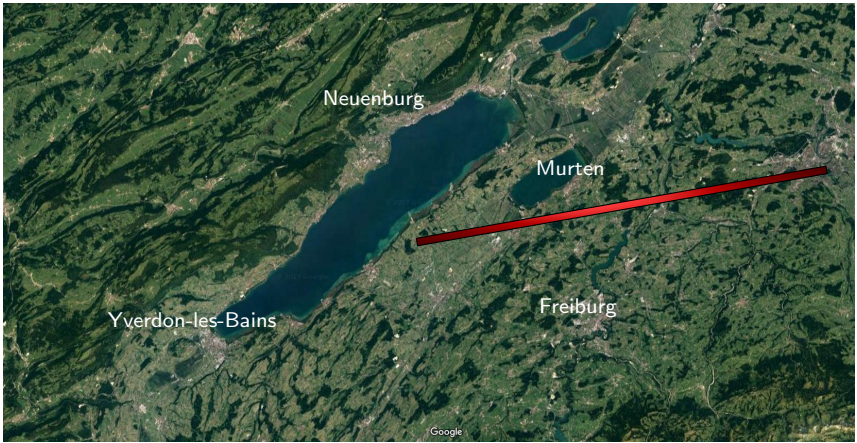
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



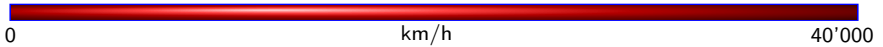
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



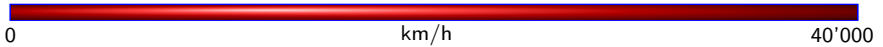
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



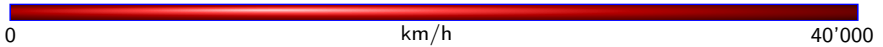
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



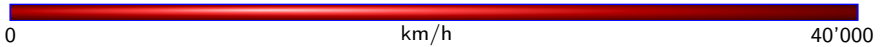
Digestif



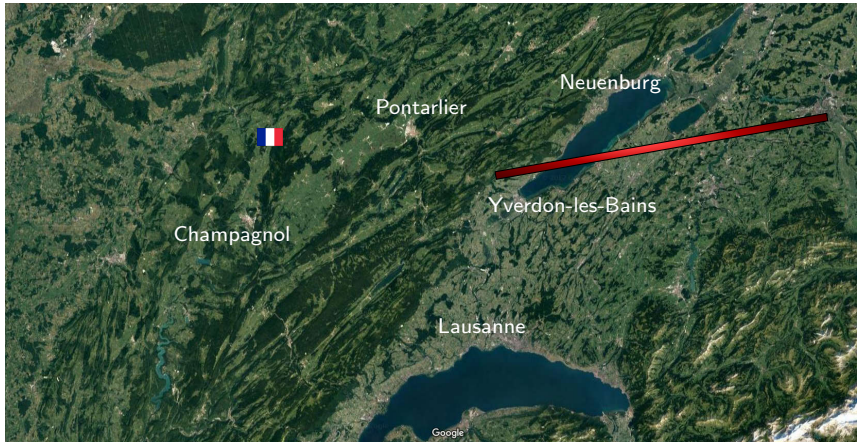
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



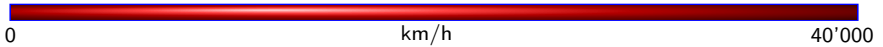
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



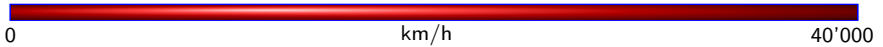
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



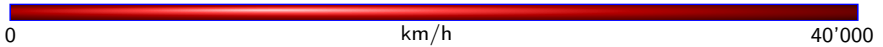
Digestif



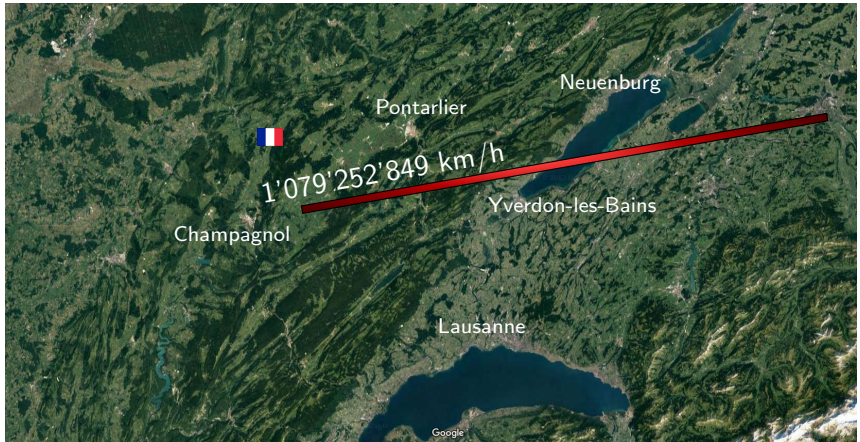
Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



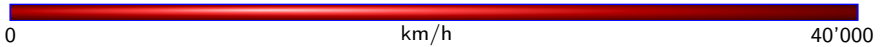
Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



Digestif



Dieser Massstab ist 4 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017

Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre

Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr

Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage

Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage
- das schnellste Flugzeug: 4.5 Tage

Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage
- das schnellste Flugzeug: 4.5 Tage
- ...
- ein Lichtblitz: 1.3 Sekunden

Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

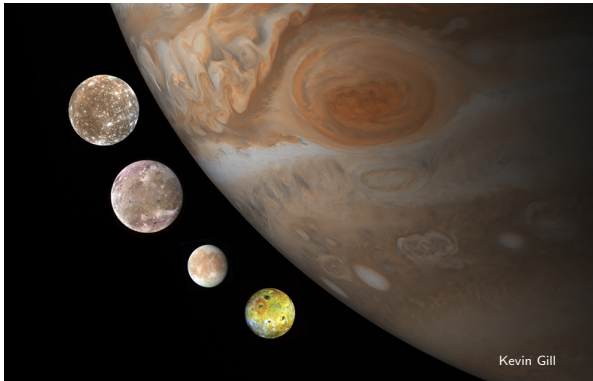
- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage
- das schnellste Flugzeug: 4.5 Tage
- ...
- ein Lichtblitz: 1.3 Sekunden

Zum Mond in einer Sekunde...

Woher weiss man das?

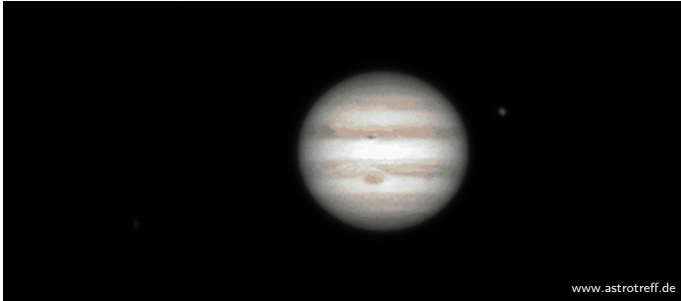
Woher weiss man das?

Jupiter und seine vier grössten Monde: Kallisto, Ganymed, Europa, Io



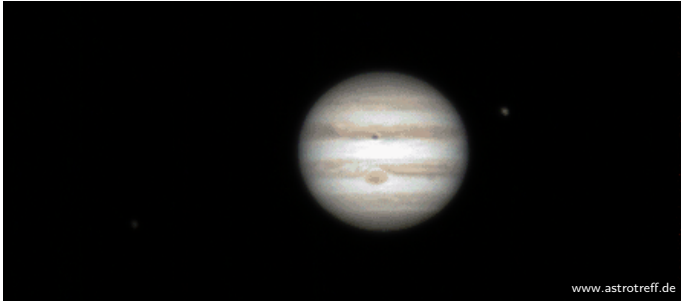
- Galileo Galilei entdeckte die vier Monde 1610.
- Ihre Bewegung diente im 17. Jh. in der Seefahrt als Uhr.

Woher weiss man das?



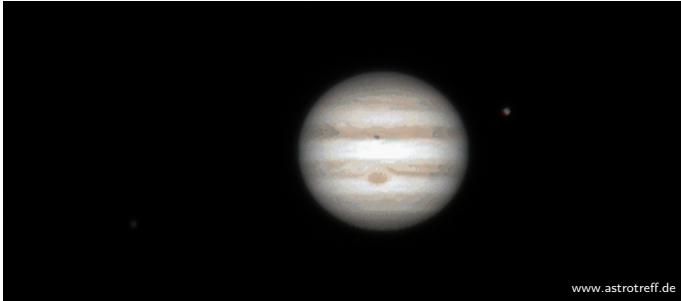
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



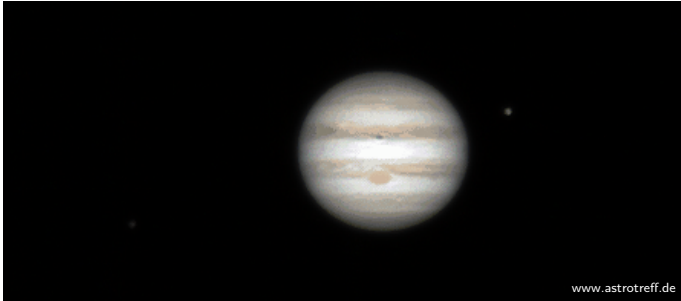
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



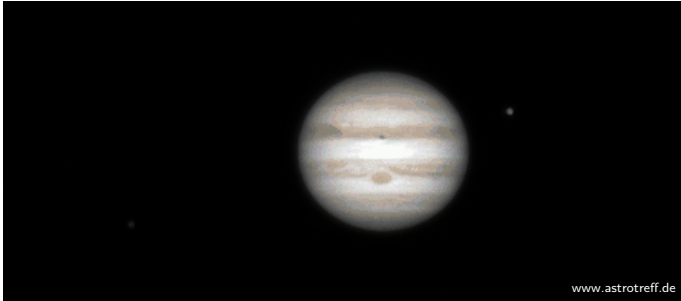
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



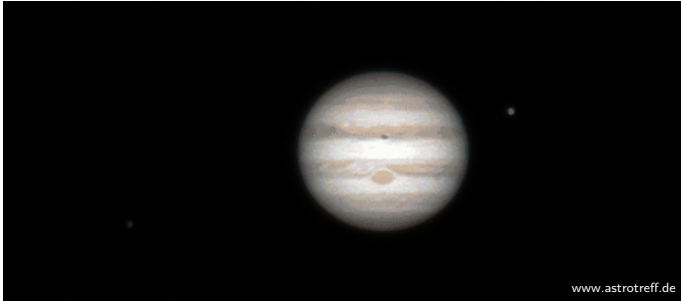
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



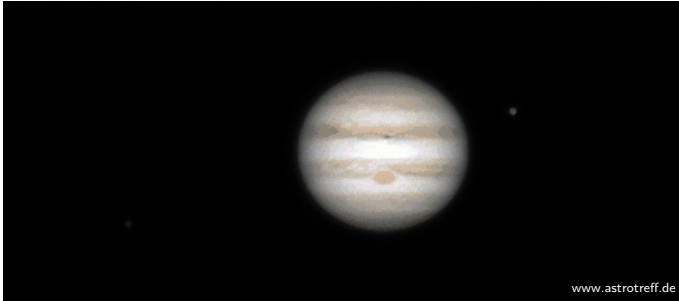
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



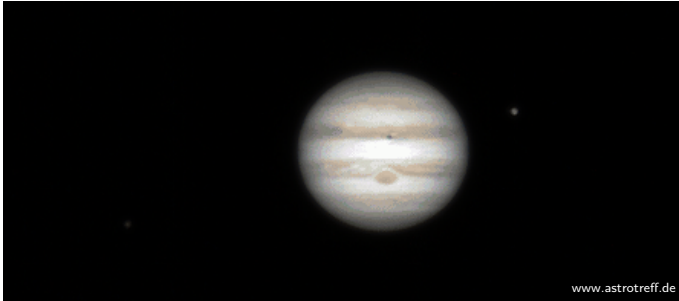
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



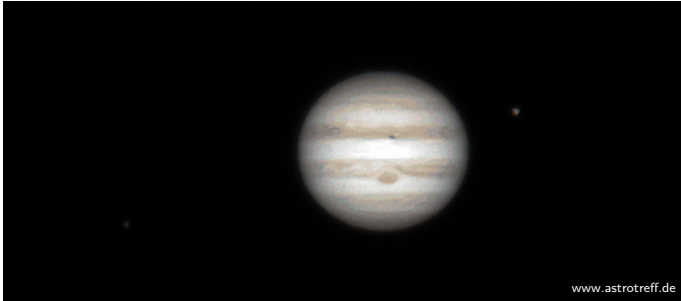
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



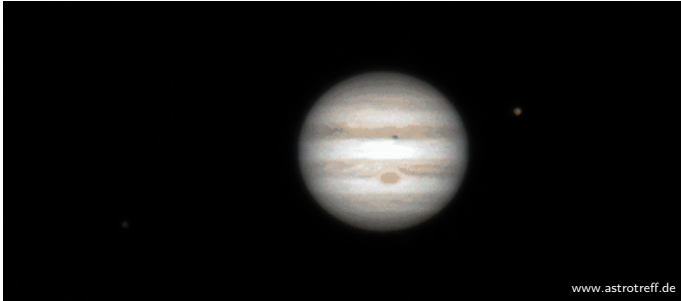
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



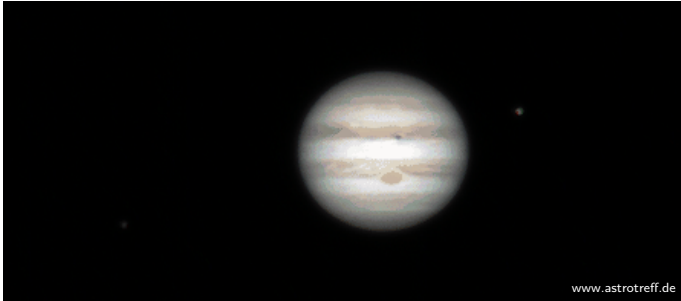
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



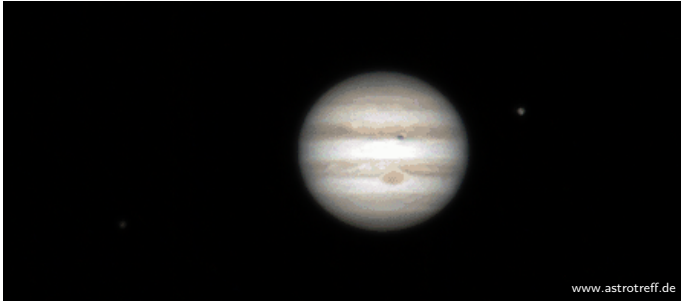
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



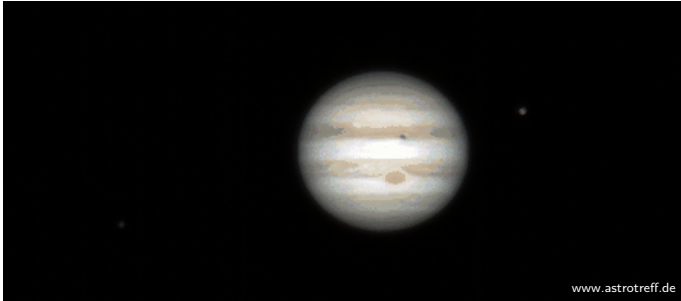
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



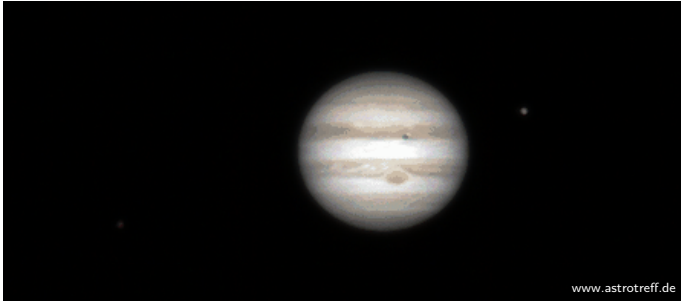
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



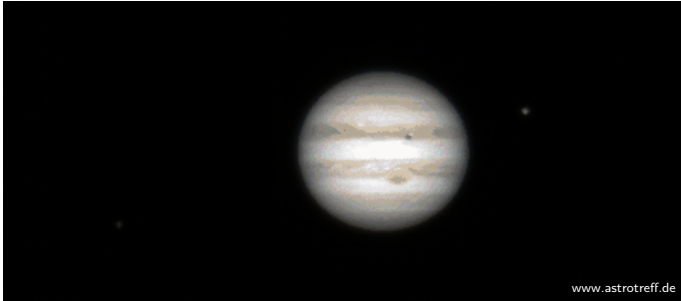
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



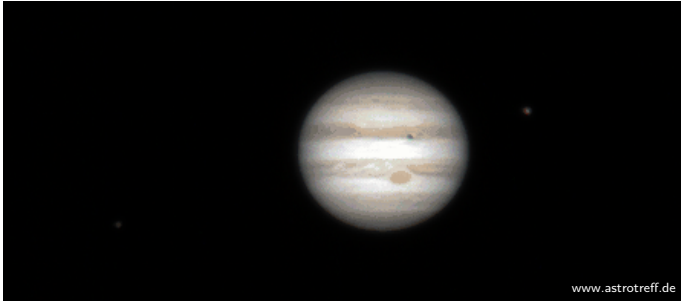
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



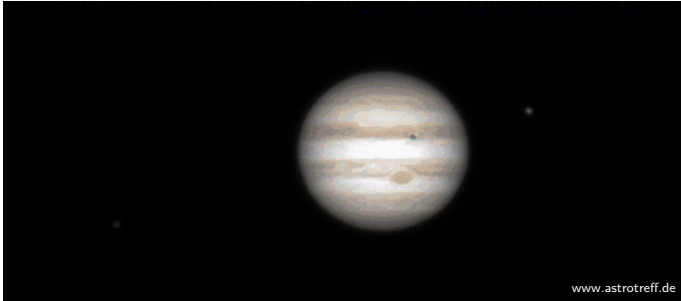
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



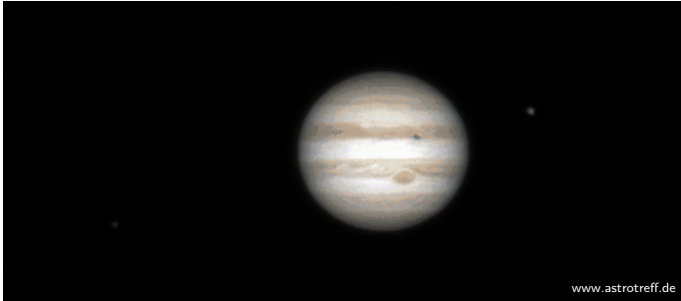
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



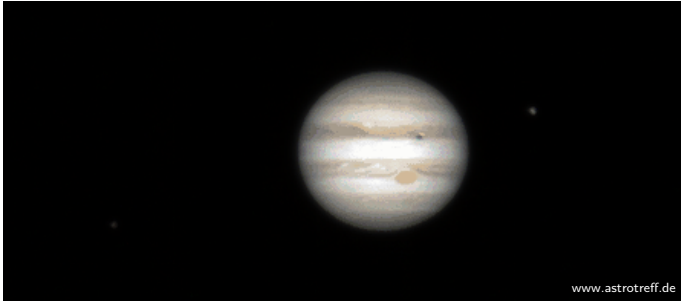
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



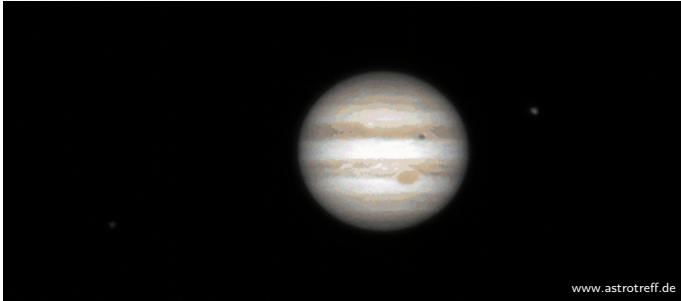
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



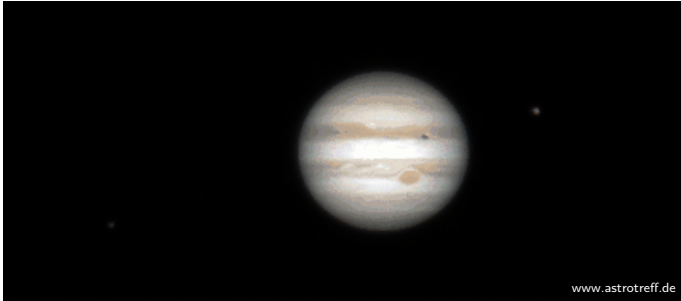
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



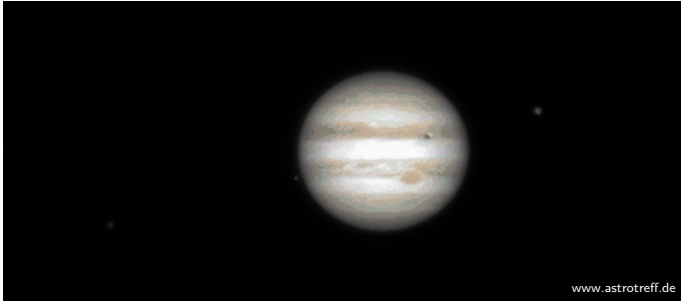
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



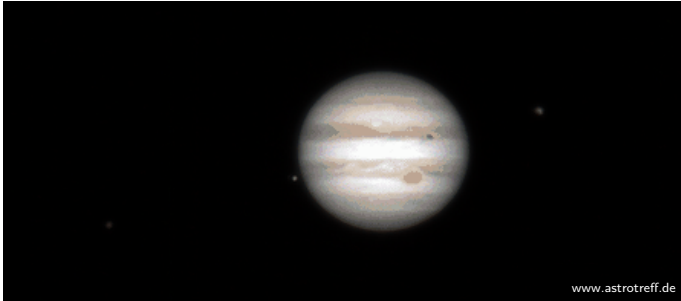
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



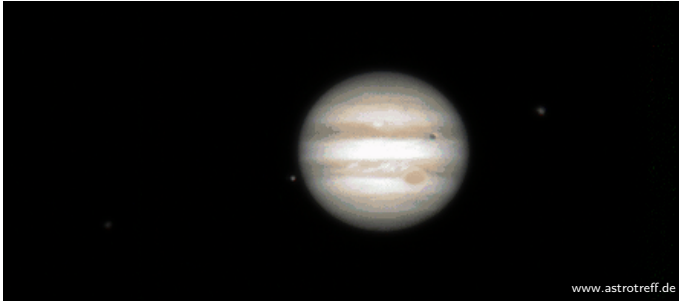
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



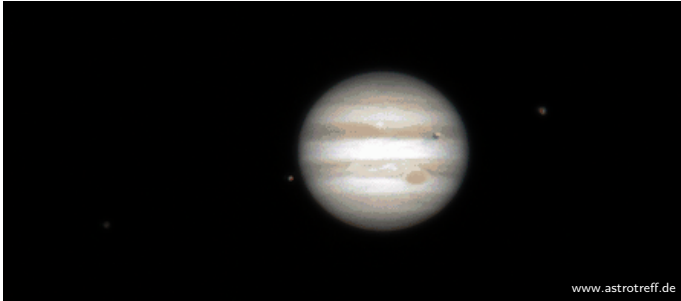
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



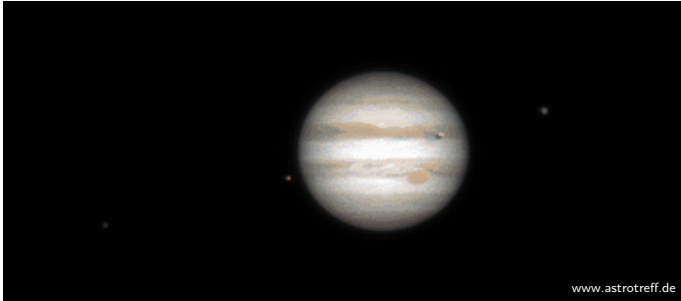
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



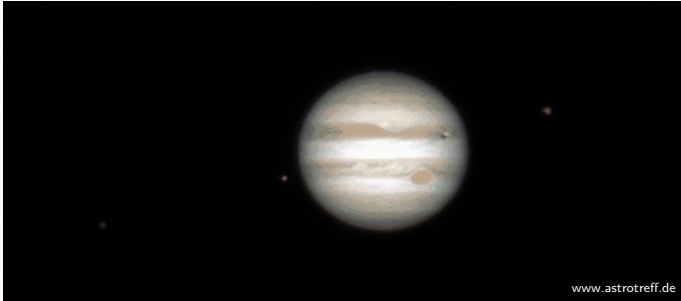
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



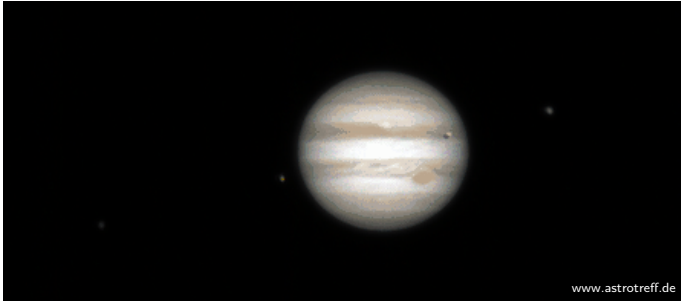
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



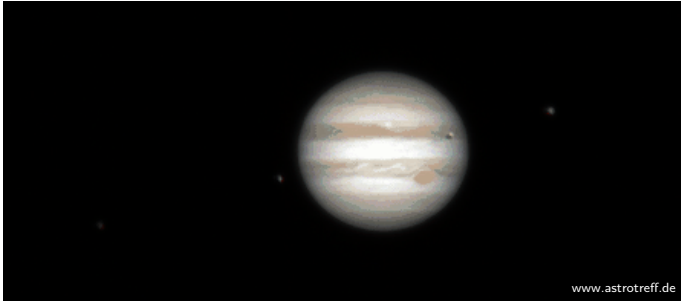
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



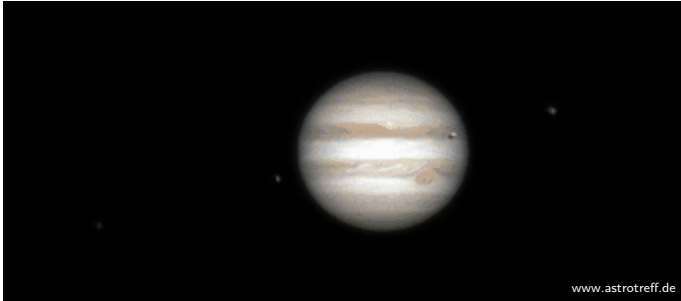
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



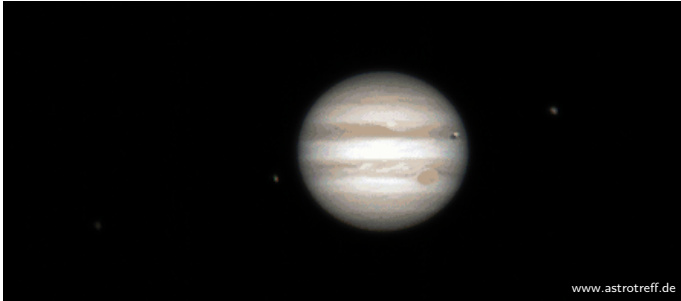
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



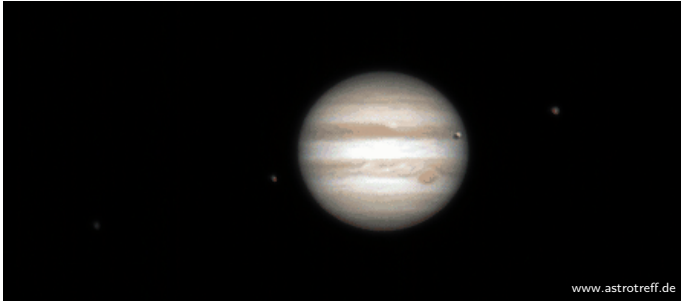
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



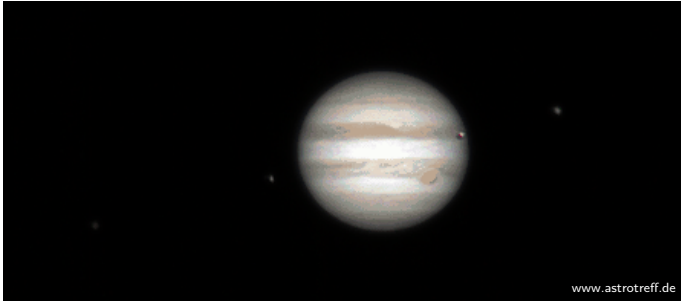
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



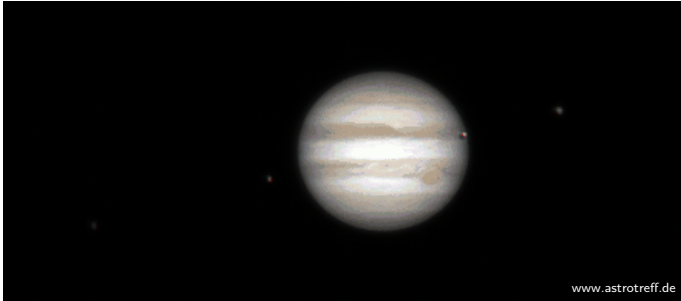
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



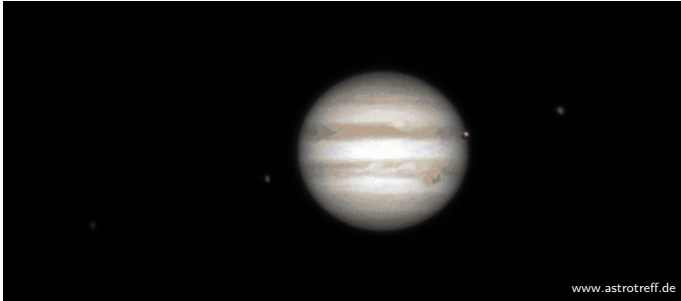
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



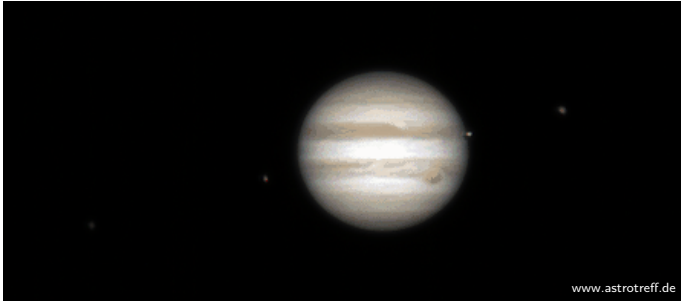
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



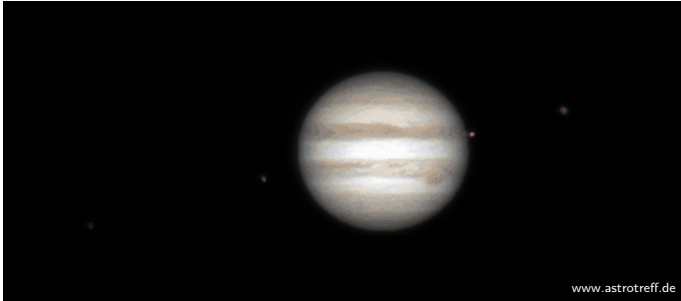
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



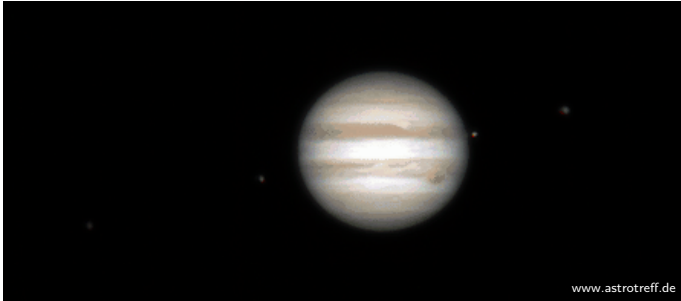
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufszeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



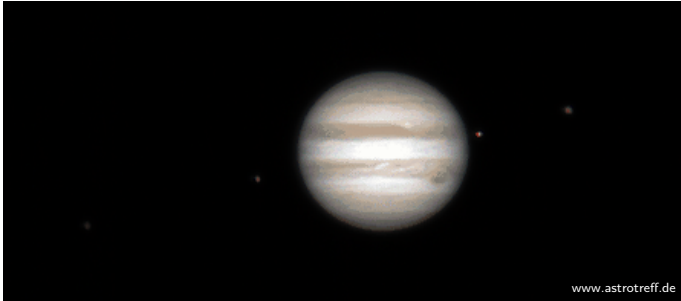
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



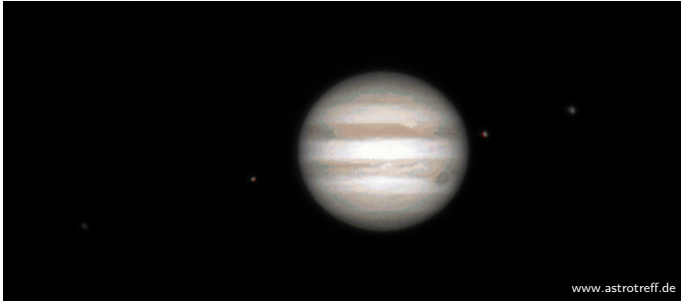
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



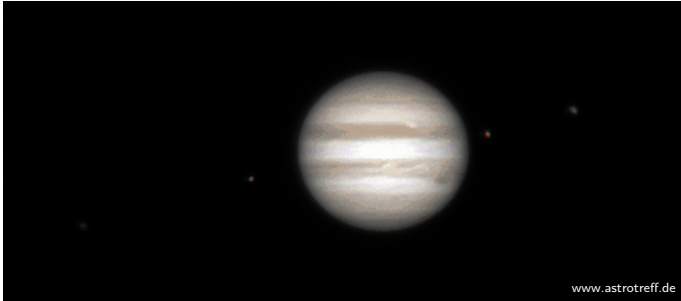
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



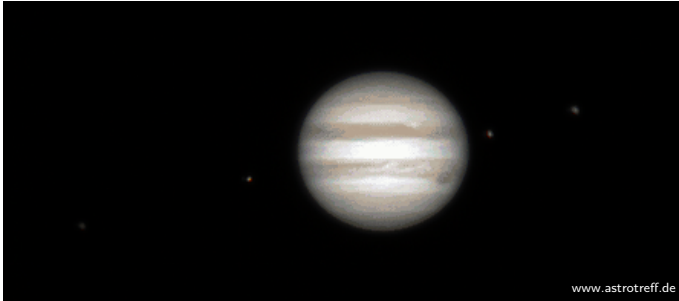
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



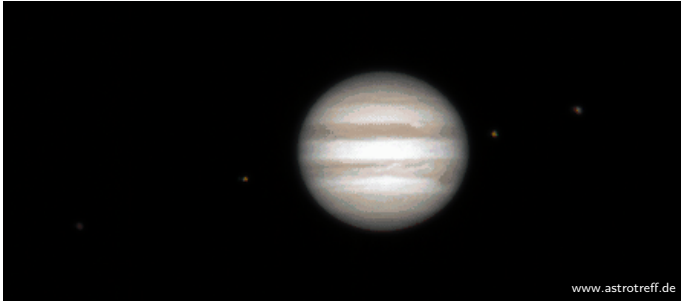
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



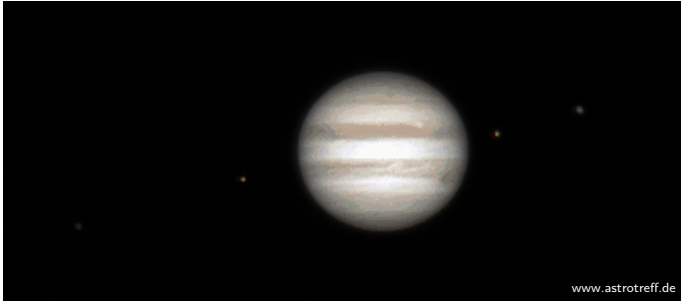
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



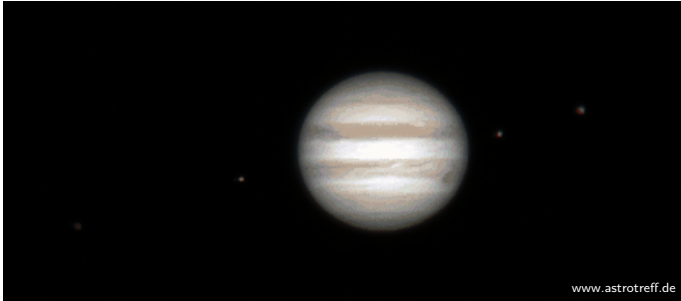
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



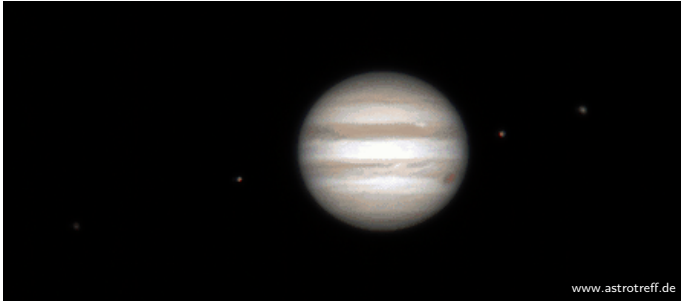
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



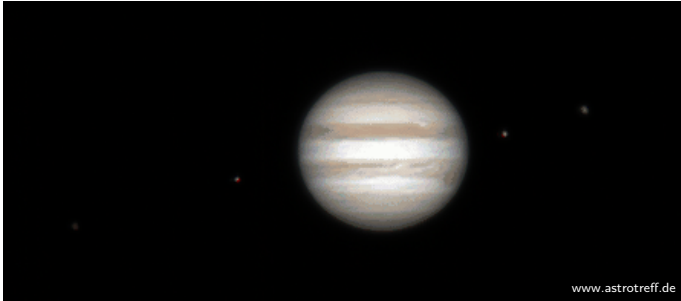
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



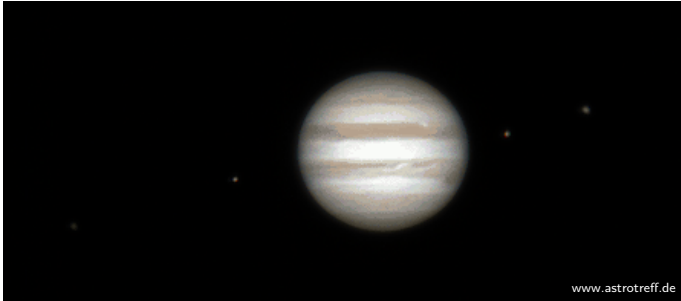
- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit auf See die Zeit bestimmen.

Woher weiss man das?

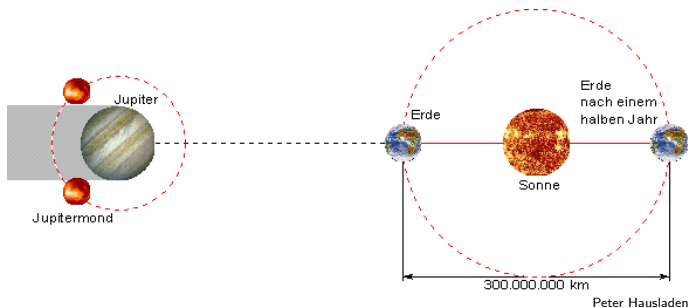
1676 stellt der dänische Astronom Ole Rømer fest, dass die beobachteten Schattenein- und austritte der Jupitermonde systematisch von den vorausberechneten abweichen.

→ Im Laufe eines Jahres gingen die Monde zunehmend vor, dann zunehmend nach.



Woher weiss man das?

Rømer führte die Abweichungen auf die Bewegungen der Erde um die Sonne und damit auf die unterschiedlichen Laufzeiten des Lichts zurück.



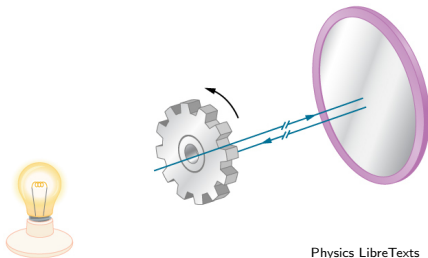
1678 bestimmte der niederländische Astronom Christiaan Huygens mittels Rømers Überlegungen die Lichtgeschwindigkeit zu $213'000 \text{ km/s}$.

Woher weiss man das?

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner Zahnradmethode die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal "im Labor" bestimmen. Er fand 315'000 km/s.

Woher weiss man das?

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner Zahnradmethode die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal “im Labor” bestimmen. Er fand 315'000 km/s.



Physics LibreTexts

Woher weiss man das?

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner Zahnradmethode die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal “im Labor” bestimmen. Er fand 315'000 km/s.
- Mit weiteren Methoden wurde die Lichtgeschwindigkeit immer genauer bestimmt. 1972 betrug die beste Messung $299'792'456.2 \pm 1.1$ m/s.

Woher weiss man das?

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner Zahnradmethode die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal "im Labor" bestimmen. Er fand 315'000 km/s.
- Mit weiteren Methoden wurde die Lichtgeschwindigkeit immer genauer bestimmt. 1972 betrug die beste Messung $299'792'456.2 \pm 1.1$ m/s.
- 1983 definierte man den Meter neu als diejenige Strecke, die Licht im Vakuum im 299'792'458sten Teil einer Sekunde zurücklegt. Logischerweise beträgt seither die Lichtgeschwindigkeit *exakt* 299'792'458 m/s.

Mit Licht Distanzen messen

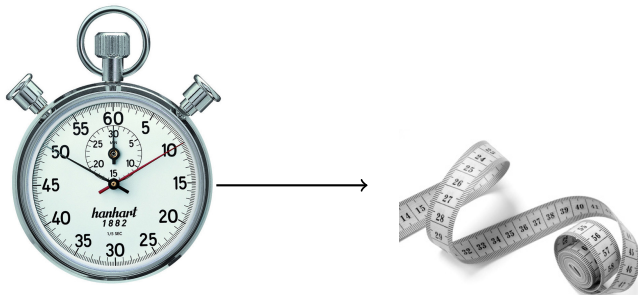
Mit Licht Distanzen messen

- Die Lichtgeschwindigkeit gibt an, welche Strecke ein Lichtblitz in einer gewissen Zeit zurücklegt.



Mit Licht Distanzen messen

- Die Lichtgeschwindigkeit gibt an, welche Strecke ein Lichtblitz in einer gewissen Zeit zurücklegt.



- Kann man die Zeit sehr genau messen, die ein Lichtblitz benötigt, um eine gewisse Strecke zurückzulegen, kann man so diese Strecke messen.

Mit Licht Distanzen messen

- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.



Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die Zeit t gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.

Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die Zeit t gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.
- Die Distanz d bis zum Objekt ist dann

$$d = \frac{c \cdot t}{2}.$$

Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die Zeit t gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.
- Die Distanz d bis zum Objekt ist dann
$$d = \frac{c \cdot t}{2}.$$
- Bei $d = 1$ m kommt das Licht nach 6.7 milliardstel einer Sekunde zurück

Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die Zeit t gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.
- Die Distanz d bis zum Objekt ist dann
$$d = \frac{c \cdot t}{2}.$$
- Bei $d = 1$ m kommt das Licht nach 6.7 milliardstel einer Sekunde zurück
- Handelsübliche Geräte messen so Strecken von z.T. über 100 m auf mm-Genauigkeit.

Übrigens...

- Laser steht für “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation” (Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung).

Übrigens...

- Laser steht für “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation” (Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung).
- (Optische) Laserstrahlen sind einfarbiges Licht mit hoher Intensität, welches sich sehr eng bündeln lässt.



Übrigens...

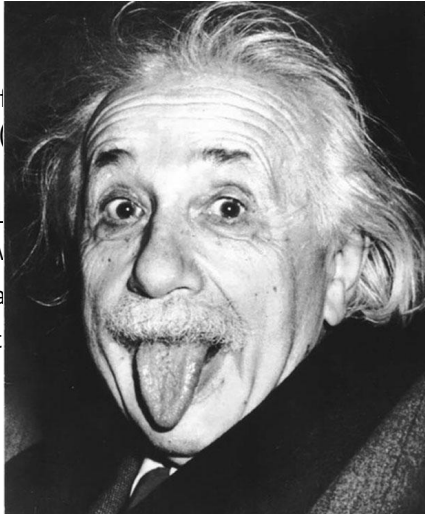
- Laser steht für “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation” (Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung).
- (Optische) Laserstrahlen sind einfarbiges Licht mit hoher Intensität, welches sich sehr eng bündeln lässt.
- Der erste Laser wurde 1960 gebaut.

Übrigens...

- Laser steht für “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation” (Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung).
- (Optische) Laserstrahlen sind einfarbiges Licht mit hoher Intensität, welches sich sehr eng bündeln lässt.
- Der erste Laser wurde 1960 gebaut.
- Albert Einstein hat aber schon 1916 die physikalischen Grundlagen des Lasers erarbeitet.

Übrigens...

- Laser steht für „**L**ight **A**mplified **E**mission of **R**adiation“ (verstärkte Emission von Strahlung).
- (Optische) Laserstrahlung hat eine hohe Intensität, was zu einer hohen Energie führt.
- Der erste Laser wurde 1960 von Theodore Maiman entwickelt.
- Albert Einstein legte die Grundlagen der Quantenmechanik.



Satellite Laser Ranging (SLR)

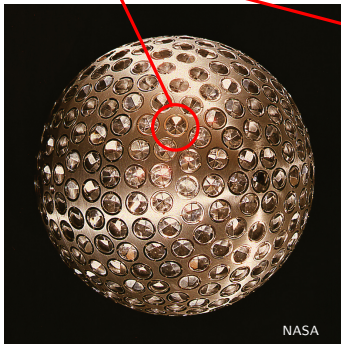
- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.

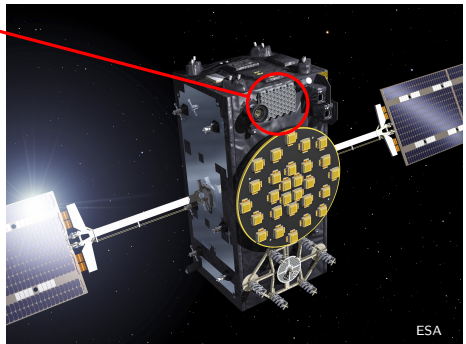
Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit **Retroreflektoren** ausgestattet sind.



NASA

LAGEOS



ESA

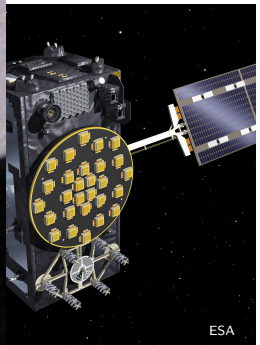
Galileo

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit **Retroreflektoren** ausgestattet sind.



LAGE



Galileo

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**
- Gut zielen!

Satellit	Höhe	Lichtlaufzeit	Satellitengeschwindigkeit
LAGEOS	5'900 km	2×0.02 s	5.7 km/s (20'518 km/h)
Galileo	23'222 km	2×0.08 s	3.7 km/s (13'211 km/h)

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**
- Gut zielen!

Satellit	Höhe	Lichtlaufzeit	Satellitengeschwindigkeit
LAGEOS	5'900 km	2×0.02 s	5.7 km/s (20'518 km/h)
Galileo	23'222 km	2×0.08 s	3.7 km/s (13'211 km/h)

- Trotzdem: cm-Genauigkeit!

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**
- Gut zielen!

Satellit	Höhe	Lichtlaufzeit	Satellitengeschwindigkeit
LAGEOS	5'900 km	2×0.02 s	5.7 km/s (20'518 km/h)
Galileo	23'222 km	2×0.08 s	3.7 km/s (13'211 km/h)

- Trotzdem: cm-Genauigkeit!
- Es müssen zahlreiche Effekte berücksichtigt werden, die die Ausbreitung des Lichts beeinflussen: Atmosphäre, relativistische Effekte...

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen ...arker Laser in der
- Lage sehr gr
- Man schafft
- Retroreflekt
- **Satellite Las** ...ernungsmessung"
- Gut zielen!

Satellit

LAGEOS

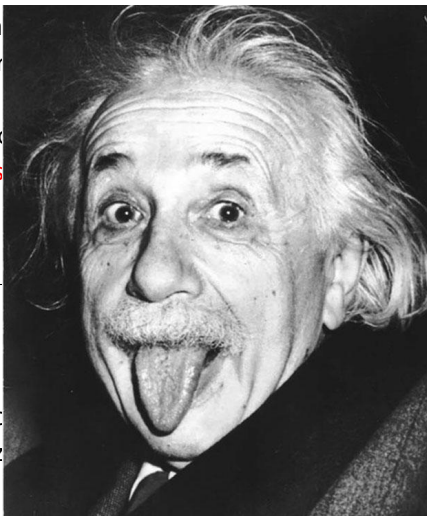
Galileo

tengeschwindigkeit

m/s (20'518 km/h)

m/s (13'211 km/h)

- Trotzdem: c
- Es müssen z
- Ausbreitung
- Effekte...
- ...rden, die die
- ...re, relativistische



Satellite Laser Ranging (SLR)

Sternwarte Zimmerwald (7 km südlich der Stadt Bern) des
Astronomischen Instituts der Universität Bern:



Satellite Laser Ranging (SLR)

Sternwarte Zimmerwald (7 km südlich der Stadt Bern) des
Astronomischen Instituts der Universität Bern:



1-Meter Zimmerwald Laser- und Astrometrie-Teleskop
(ZIMLAT)

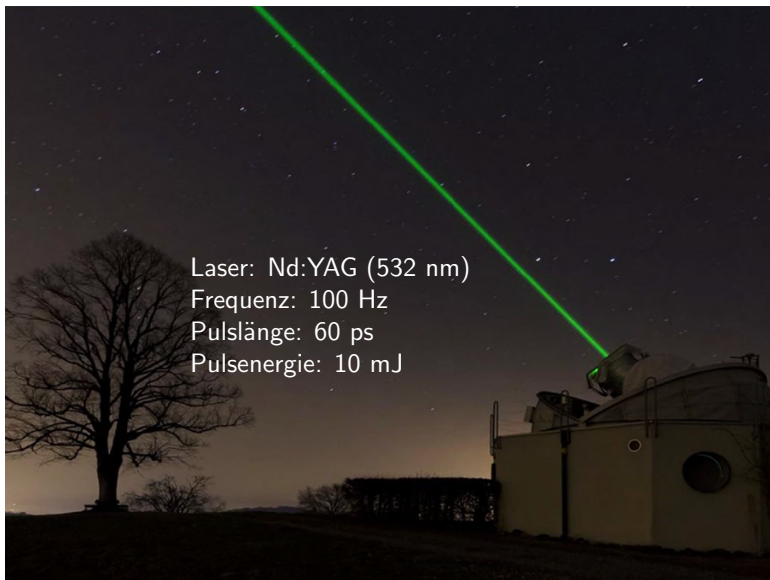
Satellite Laser Ranging (SLR)



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017

Satellite Laser Ranging (SLR)

Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017



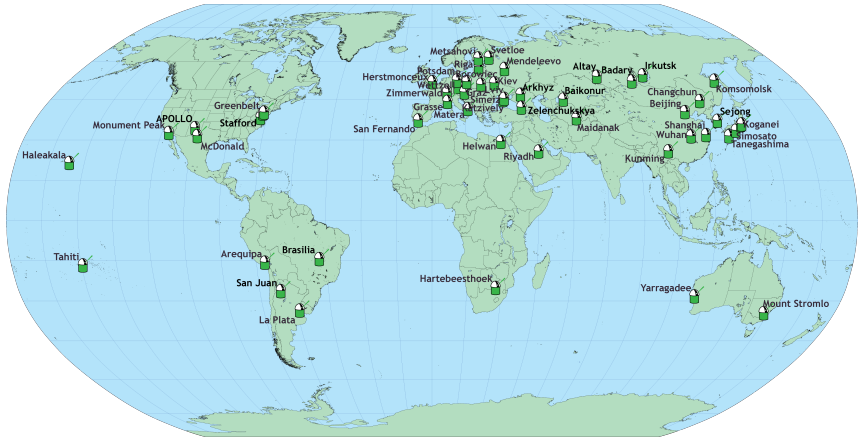
Satellite Laser Ranging (SLR)



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017

Satellite Laser Ranging (SLR)

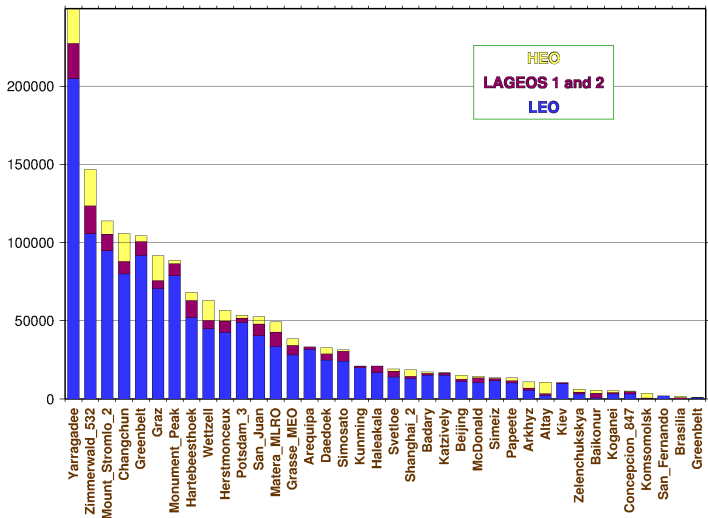
SLR-Stationen des International Laser Ranging Service (ILRS):



Stand: Mai 2016

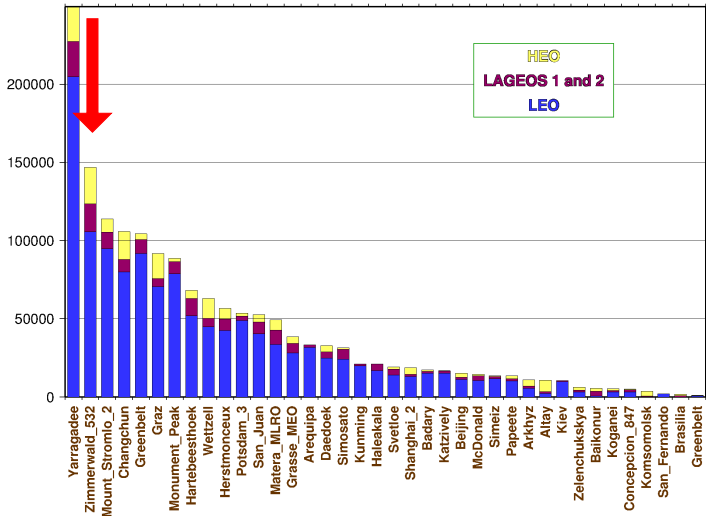
Satellite Laser Ranging (SLR)

Anzahl der SLR-Messungen von Oktober 2013 bis September 2014:



Satellite Laser Ranging (SLR)

Anzahl der SLR-Messungen von Oktober 2013 bis September 2014:



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017

Satellite Laser Ranging (SLR)

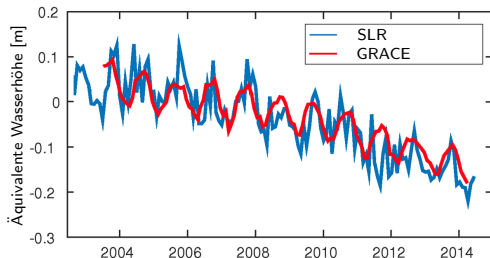
Mit den SLR-Messungen bestimmt man sehr genau

- die Umlaufbahnen der Satelliten
- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik)
- die Erdrotation
- den Erdschwerpunkt und seine Variation
- das Erdschwerefeld und seine Variation \implies Klimaforschung

Satellite Laser Ranging (SLR)

Mit den SLR-Messungen bestimmt man sehr genau

- die Umlaufbahnen der Satelliten
- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik)
- die Erdrotation
- den Erdschwerpunkt und seine Variation
- das Erdschwerefeld und seine Variation \Rightarrow Klimaforschung



Zeitliche Änderung des Schwerefeldes über Grönland. Das beschleunigte **Abschmelzen des Eises** ist gut sichtbar.

Satellite Laser Ranging (SLR)

Mit den SLR-Messungen bestimmt man sehr genau

- die Umlaufbahnen der Satelliten
- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik)
- die Erdrotation
- den Erdschwerpunkt und seine Variation
- das Erdschwerefeld und seine Variation \implies Klimaforschung

SLR-Messungen lassen sich aber auch verwenden um

- Einsteins allgemeine Relativitätstheorie zu testen
- ...

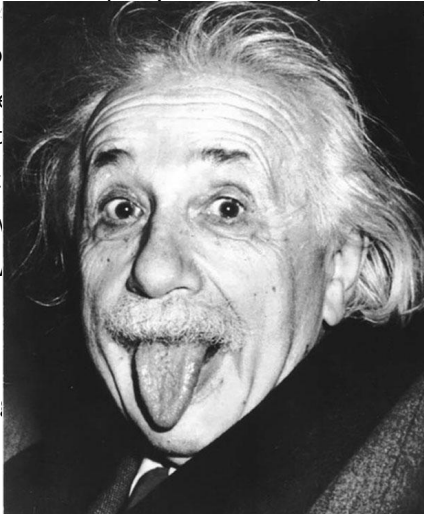
Satellite Laser Ranging (SLR)

Mit den SLR-Messungen

- die Umlaufbahnen
- die Positionen
(Plattentektonik)
- die Erdrotation
- den Erdschwerpunkt
- das Erdschwerfeld

SLR-Messungen

- Einsteins allg.
- ...

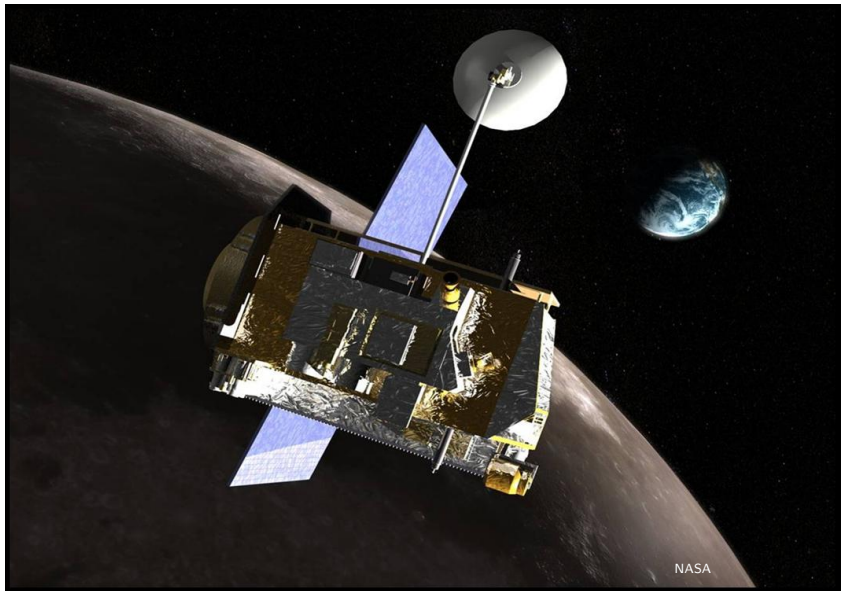


Stationen

maforschung

n
n

Satellite Laser Ranging (SLR)



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017

Satellite Laser Ranging (SLR)

- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung



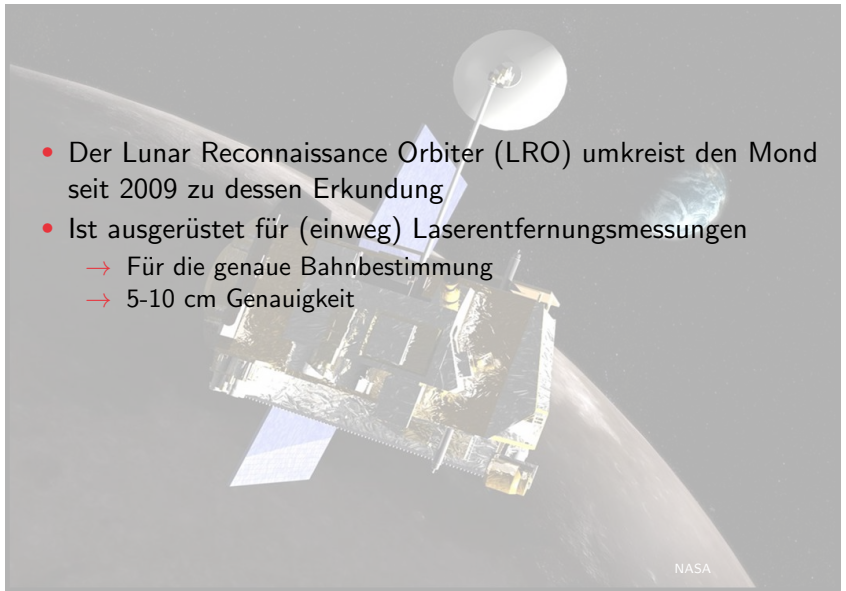
Satellite Laser Ranging (SLR)

- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung
- Ist ausgerüstet für (einweg) Laserentfernungsmessungen



Satellite Laser Ranging (SLR)

- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung
- Ist ausgerüstet für (einweg) Laserentfernungsmessungen
 - Für die genaue Bahnbestimmung
 - 5-10 cm Genauigkeit

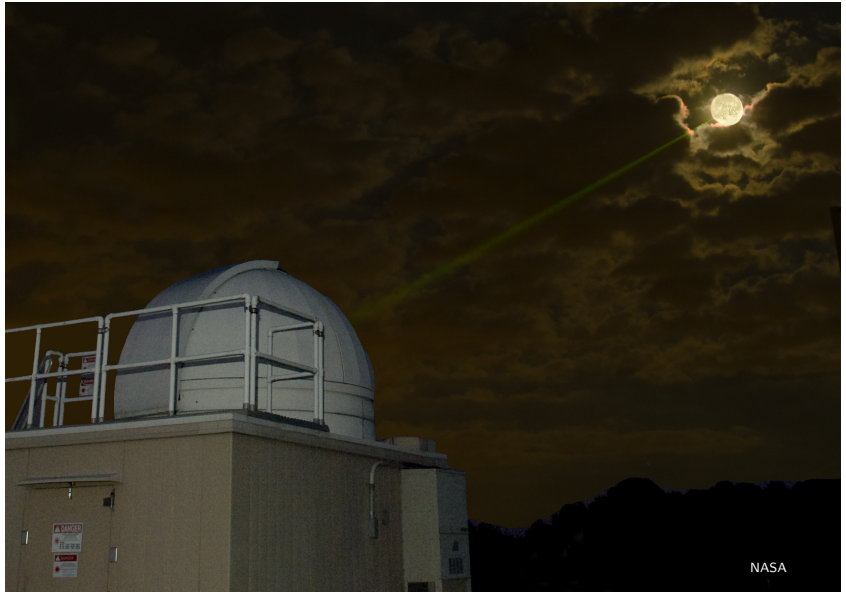


Satellite Laser Ranging (SLR)

- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung
- Ist ausgerüstet für (einweg) Laserentfernungsmessungen
 - Für die genaue Bahnbestimmung
 - 5-10 cm Genauigkeit
- Zimmerwald hat als erste europäische SLR-Station erfolgreich Distanzen zu LRO gemessen

NASA

Satellite Laser Ranging (SLR)



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017

Satellite Laser Ranging (SLR)

Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen
Eine Nacht mit Albert, 2. Juni 2017



Das AIUB heisst Sie herzlich willkommen!

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

www.aiub.unibe.ch

www.nachtderforschung.unibe.ch

